

*Małgorzata Powałka, Jerzy Buliński\**

*Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji*

*\*Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych<sup>2/</sup>*

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego*

## **Wpływ technicznych parametrów opon ciągnikowych i sztywności podłoża na wielkość powierzchni podparcia koła**

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono wyniki badań nad wpływem sztywności podłoża na wielkość powierzchni podparcia koła i wartości nacisków jednostkowych. Sformułowano równania empiryczne oraz opracowano współczynnik określający udział aktywnej części bieżnika opon ciągnikowych w styku z podłożem.

**Słowa kluczowe:** ciągnik, opony, powierzchnia styku, naciski jednostkowe.

### **Wstęp**

Zagadnienie wielkości powierzchni styku opony z glebą jest częścią ogólnej problematyki współpracy koła z podłożem. W zależnościach określających wartości jednostkowych nacisków kół na glebę autorzy: Agiejkin [1959], Dajniak [1974], Kruszewski [1988], Komandi [1976], Walczyk [1992], Jakliński [1999] uwzględniają szereg parametrów techniczno-eksploatacyjnych opony (szerokość, średnica, ciśnienie, wartości kątów charakterystycznych dla danego rodzaju ogumienia), natomiast właściwości gleby określone są za pomocą jednego współczynnika związanego w ogólny sposób z rodzajem gleby, bądź nie są uwzględniane. Brak jest zależności pozwalającej na prognozowanie wielkości jednostkowych nacisków kół w zależności od właściwości podłoża, a zwłaszcza jego sztywności.

Celem prowadzonych badań było określenie wpływu sztywności podłoża na wartość powierzchni styku opon ciągnikowych zróżnicowanych wymiarami i obciążeniem.

### **Metodyka badań**

Badania wykonano w warunkach laboratoryjno-polowych na nawierzchni betonowej i na glebie zróżnicowanej ugnieceniem, z wykorzystaniem 3 typowych ciągników rolniczych: MF255 oraz Ursus 4512 i Ursus1234.

Wybrane dane techniczno-eksploatacyjne ciągników zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane dane techniczno-eksploatacyjne ciągników użytych w badaniach  
 Table 1. Selected technical and usage data of tractors used in the research

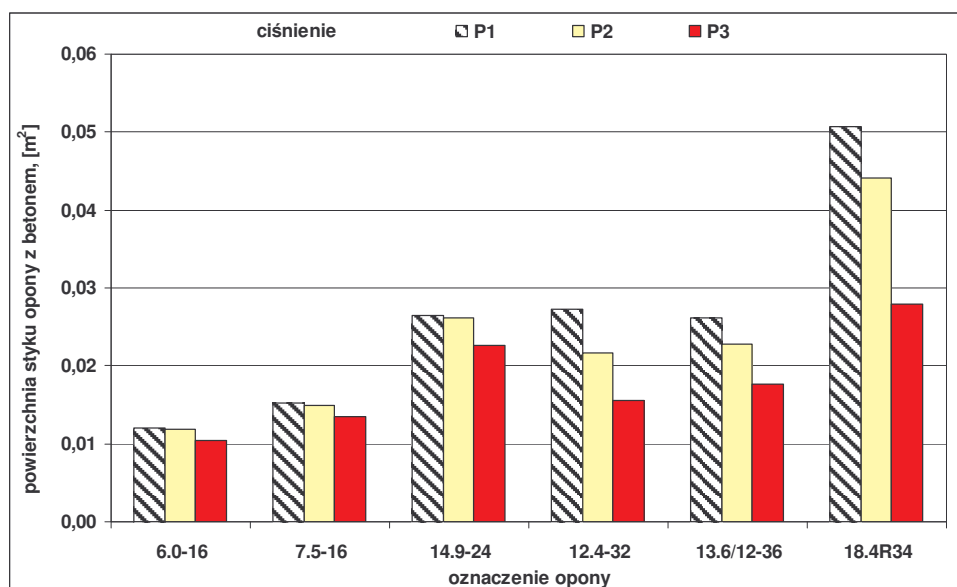
| Wyszczególnienie   |       | Jedn. miary | Ciągnik                |            |                       |
|--------------------|-------|-------------|------------------------|------------|-----------------------|
|                    |       |             | MF255                  | Ursus 4512 | Ursus 1234            |
| Obciążenie osi     | przód | kN          | 8,68                   | 12,28      | 23,58                 |
|                    | tył   | kN          | 14,30                  | 19,49      | 33,84                 |
| Rozmiar opon       | przód | cal         | 6.00-16                | 7.50-16    | 14.9-24               |
|                    | tył   | cal         | 12.4-32                | 13.6/12-36 | 18.4 R34              |
| Ciśnienie w oponie | przód | kPa         | P1=180, P2=210, P3=260 |            | P1=120, P2=150 P3=180 |
|                    | tył   | kPa         | P1=90, P2=120, P3=160  |            | P1=80, P2=110 P3=140  |

Badania laboratoryjne wykonano przy ciśnieniach P1, P2, P3 w oponie, natomiast badania polowe przeprowadzono przy ciśnieniu pośrednim P2. Badania polowe wykonano na piasku gliniastym, o zawartości części spławianych 19%, przy wilgotności podczas pomiarów 6,4-8,2% wagowych. Przed pomiarami pole zaorano do głębokości 0,35 m i po 14-dniach ugniecenie odcinków pomiarowych zróżnicowano wykonując poszczególnymi ciągnikami 1-2-4-8 przejazdów tym samym śladem. Podczas badań mierzono wielkość powierzchni styku opon ciągników z podłożem planimetrując ślad odcisku opony na arkuszu papieru podstawionego pod koło.

## Wyniki badań

### *Powierzchnia styku opony z betonem*

Uzyskane wyniki pomiarów dla nawierzchni betonowej (rys. 1) pozwalają wysunąć następujące spostrzeżenia.



Rys. 1. Zmiany powierzchni styku opon ciągnika na nawierzchni betonowej

Fig. 1. Changes of contact surface of tractor tires on concrete surface

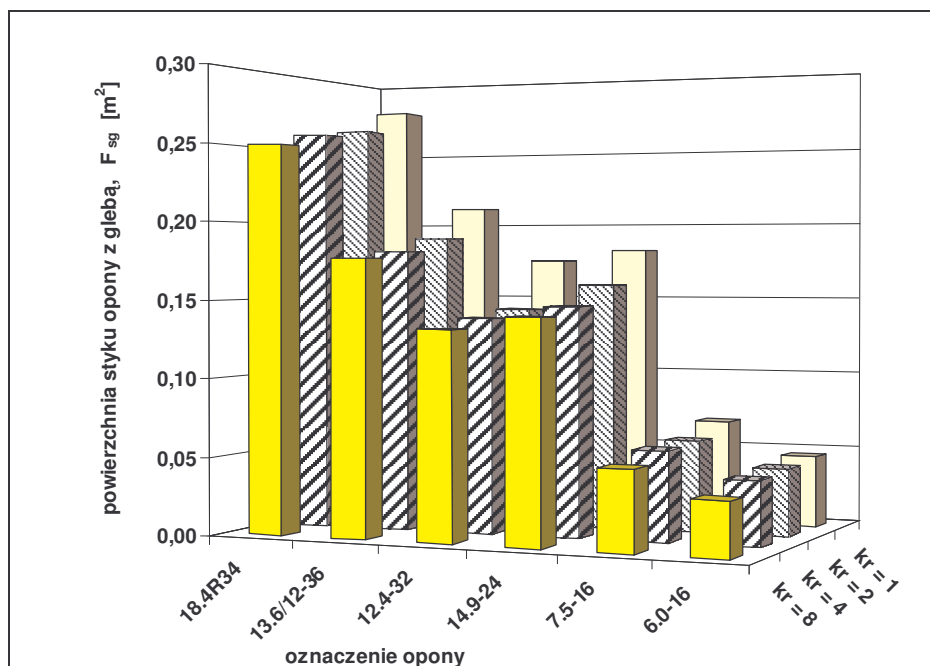
Zmiana wartości ciśnienia z  $P_1$  na  $P_2$  prowadziła do bardzo niewielkich zmian powierzchni styku opon kół przednich, mieszcząc się w zależności od rozmiaru opony w zakresie od 1,5% do 1,8%, zaś w odniesieniu do kół tylnych, zmiany te wynosiły odpowiednio od 12,5% do 20,5%. Zwiększenie ciśnienia w ogumieniu do poziomu  $P_3$ , prowadziło do zmniejszenia się powierzchni styku opon w zakresie od 9,7 do 13,3% w kołach przednich i w zakresie od 22,3% do 36,7% w kołach tylnych. Uzyskane wyniki pomiarów pozwalają opisać wpływ określanych w badaniach parametrów na wielkość powierzchni styku opony następującą zależnością:

$$F_{pb} = -0,0107 - 0,120 \cdot B_s - 0,0117 \cdot D_0 + 0,174 \cdot L_s + 0,0014 \cdot Y_k + 0,0215 \cdot P_i \quad R^2 = 96,68\% \quad (1)$$

Podstawiając szerokość śladu ( $B_s$ ), długość śladu ( $L_s$ ) i średnicę koła ( $D_0$ ) w metrach, obciążenie koła ( $Y_k$ ) w kN i ciśnienie w oponie ( $P_i$ ) w mPa, uzyskuje się wartość powierzchni styku opony z podłożem betonowym ( $F_{pb}$ ) w  $m^2$ . Poszczególne zmienne równania są istotnie zależne na poziomie ufności 99%.

### ***Powierzchnia styku opony z glebą***

Wyniki pomiarów powierzchni styku opon ciągników z glebą zróżnicowaną ugnieceniem przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Wartości powierzchni styku opon ciągnikowych ( $F_{sg}$ ) z glebą zróżnicowaną zagęszczeniem (kr)

Fig. 2. Values of tractor tires contact area ( $F_{sg}$ ) with soil differentiated in terms of thickness (kr)

Przeprowadzone pomiary wykazały, że największe zmiany wielkości śladu opony zachodziły po pierwszym przejeździe ciągnika osiągając wartości w zależności od wielkości opony od ok. 6% do ok. 19%, a przy wielokrotnym nałożeniu się przejazdów i silnym ugnieceniu powierzchni gleby, zmniejszenie powierzchni podparcia koła może przekraczać nawet 25% (opona 6.00-16). Najmniejsze zmiany powierzchni, nie przekraczające 11%, odnotowano dla opony największej 18.4R34.

Z analizy statystycznej wyników pomiarowych wynika, że wielkość powierzchni styku opony z glebą ( $F_{sg}$ ) silnie zależała od jej wymiarów i obciążenia koła, natomiast wpływ średnicy koła okazał się być mało istotny, co można opisać zależnością:

$$F_{sg} = 0,3177 * L_s + 0,00427 * Y_k + 0,2177 * B_s - 0,104 \quad R^2 = 99,39\% \quad (2)$$

Gdzie:  $L_s$  i  $B_s$  – długość i szerokość śladu opony, m

$Y_k$  – obciążenie koła, kN.

W celu uzyskania wskaźnika wiążącego wartości powierzchni śladów opon uzyskanych na glebach zróżnicowanych ugnieceniem z konstrukcyjnym wymiarem opony, wartości pomiarowe śladów opon ( $F_{sg}$ ) na glebie odniesiono do powierzchni całkowitej bieżnika opon, określonej na podstawie szerokości śladu ( $B_s$ ) i średnicy koła ( $D_k$ ) wyrażonych w metrach.

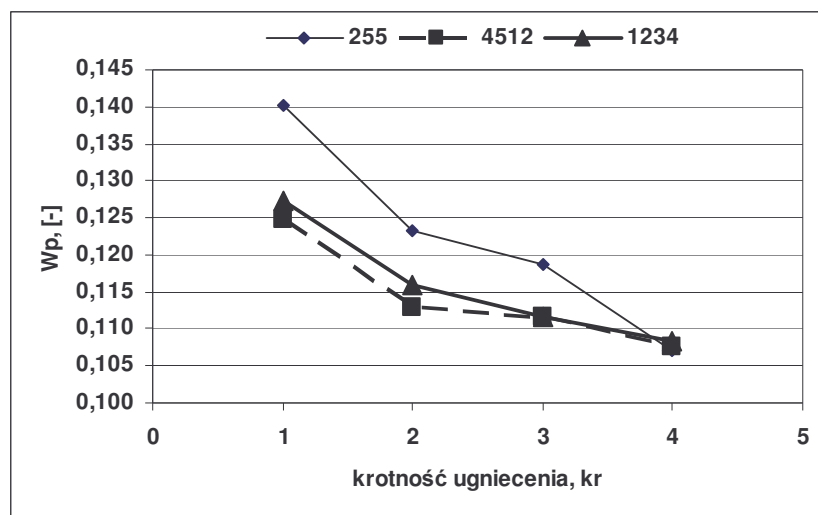
$$Wp = \frac{F_{sg}}{B_s * \pi * D_k}; \quad (3)$$

Określone w ten sposób wartości bezwymiarowego współczynnika, wyrażają udział aktywnej części bieżnika współpracującego z podłożem, przy uwzględnieniu stanu podłoża i parametrów konstrukcyjnych koła.

Z wykonanych pomiarów i obliczeń wynika, że w zależności od stopnia zagęszczenia gleby ( $kr = 1, 2, 4, 8$ ), wartości współczynnika  $Wp$  kształtowały się w zakresie od 0,1018 do 0,148 ( odch. stand.  $\sigma = 0,0122$ ). Dla porównania, określone w analogiczny sposób wartości współczynnika  $Wp$  dla nawierzchni betonowej kształtowały się w zakresie od 0,0051 do 0,0403 ( $\sigma = 0,0115$ ) tj. były mniejsze od 3,6 do prawie 20-krotnie. Równocześnie uzyskane wartości współczynnika  $Wp$  dla podłoża glebowego wykazały na niewielkie zróżnicowanie dla opon osi przedniej i tylnej roz-

patrywanych ciągników. W przekroju rozpatrywanych stanów ugniecenia gleby różnice te wynosiły średnio  $\Delta W_p = 0,00551$ , co nie przekraczało 5%.

Brak statystycznie istotnych różnic ( $t=1,10747$ ,  $p=0,280053$ ,  $\alpha=0,95$ ) pomiędzy wartościami średnimi współczynnika  $W_p$ , wyznaczonymi dla opon osi przedniej i tylnej, stanowiły podstawę do uśrednienia ich wartości dla poszczególnych stanów ugniecenia gleby (rys. 3).



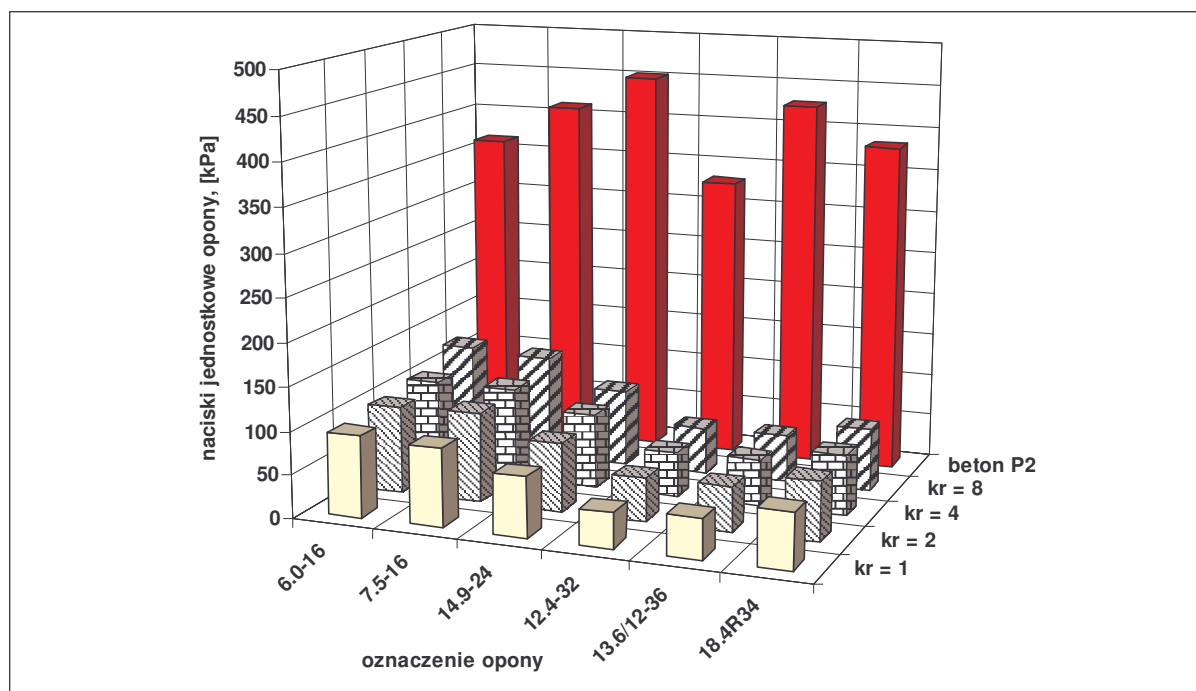
Rys. 3. Zmiany współczynnika  $W_p$ , uśrednione dla kół przedniej i tylnej osi rozpatrywanych ciągników na glebie zróżnicowanej ugnieceniem

Fig. 3. Changes of  $W_p$  coefficient, averaged for the front and back axes wheels for the discussed tractors, for the soil differentiated in terms of soil packing

Rozpatrując przedstawione wartości współczynnika  $W_p$  można zauważyć, że wraz ze wzrostem zagęszczenia gleby kolejnymi przejazdami ciągników, wartości współczynnika  $W_p$  maleją, przy czym bardzo zbliżone przebiegi zmian uzyskano dla ciągników Ursus 4512 i 1234. Ponadto, wraz ze wzrostem ugniecenia gleby, różnice w wartościach współczynnika  $W_p$  dla opon wszystkich rozpatrywanych ciągników zmniejszają się aż do wartości, które można uznać za pomijalnie małe. Potwierdza to wynikające z wielu badań spostrzeżenie, że największy wpływ jednostkowych nacisków na glebę obserwuje się podczas pierwszych 2-3 przejazdów po spulchnionej roli, równocześnie, rozkład masy w agregacie prowadzący do obciążenia osi ma szczególne znaczenie w ugniatającym oddziaływaniu kół.

Zmiany powierzchni styku opony z podłożem wpływają na wartości powstających pod kołem nacisków jednostkowych (rys.4). W zależności stopnia zagęszczenia gleby naciski jednostkowe, określone na podstawie powierzchni styku opon i obciążenia

kół, były od ok. 3 do ponad 8-krotnie mniejsze niż na betonie. Równocześnie, z badań wynika, że przednie, wąskie koła ciągników MF255 i Ursus 4512 ugniatały glebę naciskami większymi niż koła tylne od ok. 100% (na glebie pojedynczym przejazdem) do ok. 130% (na glebie po 8 przejazdach). W ciągniku Ursus 1234 z szerokim ogumieniem na obydwu osiach, wartości nacisków zmieniały się w mniejszym zakresie wraz ze wzrostem ugniecenia, wynosząc odpowiednio od ok. 7% do ok. 22%. Zarówno w przypadku opon przednich jak i tylnych, zmiany powierzchni styku z glebą wynikały przede wszystkim ze wzrostu długości śladu opony, natomiast szerokość odcisku opony na glebie wraz ze wzrostem jej zagęszczenia zmieniała się w niewielkim stopniu.



Rys. 4. Zmiany wartości nacisków jednostkowych kół na glebie zróżnicowanej ugnieceniem (kr) i na betonie

Fig. 4. Changes of wheels unit pressure values on soil differentiated with soil packing (kr) and on concrete

W celu określenia możliwości wykorzystania współczynnika  $W_p$  do prognozowania wartości nacisków na glebę wytwarzanych oponę na glebę, porównano wartości nacisków wyznaczonych na podstawie danych pomiarowych i określonych metodą obliczeniową. Wyniki analizy statystycznej przeprowadzonej metodą testowania hipotezy o równości średnich nie pozwoliły odrzucić założonej hipotezy  $H_0$  ( $m_1 = m_2$ ) przy  $t = -0,0495623$  i  $p = 0,960686$ , na korzyść alternatywnej ( $m_1 \neq m_2$ ) na poziomie

istotności  $\alpha=0,05$ , co można uznać, że określone w ten sposób wartości jednostkowych nacisków opony na glebę dobrze odzwierciedlały stan rzeczywisty w zakresie przyjętych warunków polowych.

### **Wnioski**

1. Przeprowadzone badania laboratoryjno-polowe wykazały, że w zależności od obciążenia osi i wymiarów ogumienia, powierzchnia styku opony z glebą silnie zagęszczoną ( $kr=8$ ), była większa od ok. 3 (opona 6.00-16) do ponad 8 razy (opona 13,6/12-36) niż na betonie, znajdując odzwierciedlenie w wartościach nacisków jednostkowych kół.
2. Opracowane równania regresyjne umożliwiają powiązanie wielkości powierzchni styku opony z glebą z parametrami technicznymi opony, przy uwzględnieniu sztywności podłoża.
3. Określony na podstawie wykonanych badań współczynnik  $W_p$  może być wykorzystywany przy prognozowaniu wartości nacisków jednostkowych kół na glebę z uwzględnieniem jej stanu wynikającego z ugniecenia.

### **Bibliografia**

1. Agiejkin J.S., 1959. Opredielenije dieformacji i paramietrow kontakta sziny z miagkim gruntom. Awtomobilnaja promyszlenost, nr. 5.
2. Dajniak H., 1974. Ciągniki, teoria ruchu i konstruowanie. WKiŁ Warszawa .
3. Kolobov, G.G. 1966. Soil pressure measurements beneath tractor tyres. Journal of Terramechanics 3(4).
4. Komandi G. 1976. The determination of the deflection, contact area, dimensions, and load carrying capacity for driven pneumatic tires operating on concrete pavement. Journal of Terramechanics, Vol 13, No.1.
5. Kruszewski Z. 1988. Wyznaczanie nacisku wywieranego na glebę przez koło napędowe. IV. Symp. im. Cz. Kanafojskiego. Płock.
6. Jakliński L. 1999. Modelowe oddziaływanie koła pneumatycznego na glebę. Politechnika Warszawska. Prace naukowe – Mechanika z. 175.
7. Walczyk M, Walczyk J. 1992. Zastosowanie komputera do badań siły ssącej i zwięzłości gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z. 404.

## **Effect of tractor tyre technical parameters and ground rigidity on the wheel ground contact area**

The paper presents results of investigations on the effect of tractor tyre parameters on wheel ground contact area. Studies were carried out on concrete and soil of different compaction. The measurements and calculated results enabled to determine an empirical formula describing the dependencies between the wheel ground contact area and tyre parameters. Basing on the obtained results the active tread portion coefficient of the tyre tread was determined.

**Key words:** tractor, tyres, contact area, specific pressure.